

KAJIAN MASALAH PEMENDAPAN PARAFIN

Bahagian 1

Tinjauan Terhadap Masalah dan Mekanisma Pemendapan Parafin

Zulkafli Bin Hassan

Abdul Aziz Bin Abdul Kadir

(Jabatan Kejuruteraan Petroleum, UTM)

Abstrak

Pemendapan parafin dalam talian pengeluaran merupakan satu masalah yang besar yang dihadapi semasa operasi pengeluaran petroleum khususnya pada lapangan yang menghasilkan minyak mentah berlilin. Pembentukan atau pemendapan parafin pada dinding talian pengeluaran telaga mengganggu proses pengeluaran minyak dari telaga. Ini adalah kerana mendakan atau deposit yang terbentuk akan mengurangkan garispusat berkesan (effective diameter) pada sesalur atau konduit aliran lalu menyebabkan halangan atau selat terhadap aliran minyak untuk bergerak dengan bebas ke permukaan. Akibatnya, telaga tidak akan dapat berfungsi dengan berkesan dan pengurangan terhadap pengeluaran minyak dari telaga akan berlaku.

Oleh itu, kaedah untuk membunuh mendakan dari dinding talian pengeluaran ataupun peramalan untuk menentukan tempat atau keadaan pemendakan akan terbentuk perlu dikenalpasti.

Laporan ini merupakan siri pertama dari beberapa siri kertas kerja yang akan diterbitkan berdasarkan kepada kajian yang telah dan sedang dijalankan mengenai masalah pemendapan parafin pada talian pengeluaran.

Pengertian

Masalah pemendapan parafin atau lilin parafin boleh ditakrifkan sebagai keadaan di mana pemendapan bahan yang sebahagian besarnya organik menghalang pengeluaran minyak dengan berkesan. Lazimnya, sebarang mendakan atau deposit organik yang terhasil semasa pengeluaran minyak mentah dinamai parafin atau lilin. Tahap mendakan yang berlaku bergantung kepada banyak faktor antaranya; kerencaman minyak mentah, suhu telaga, kejatuhan tekanan, prosedur pengeluaran dan lain-lain. Kehilangan pengeluaran pula bergantung kepada jumlah mendakan dan di mana ia berlaku.

Semasa pengeluaran minyak mentah, semua bendasing samada boleh larut dan tidak boleh larut dibawa ke permukaan. Minyak ini akan melintasi peralatan permukaan menerusi talian pengeluaran dan seterusnya ke daratan. Oleh kerana minyak mentah ialah sejenis campuran hidrokarbon yang kompleks, keadaan dan sifat-sifat fizik dan kimia akan berubah berdasarkan kepada perubahan tekanan dan suhu minyak tersebut. Perubahan sifat-sifat ini akan mendorong berlakunya pemendakan kerak lilin parafin di dinding tetiub dan talian pengeluaran. Kerak lilin ini akan mengurangkan sebahagian dari luas keratan paip dan menghalang aliran bendalir telaga di dalam paip tersebut. Ini akan mengakibatkan pertambahan tekanan talian aliran atau tekanan balik (back pressure) dalam talian atau telaga yang akan mengakibatkan pengurangan terhadap kadar pengeluaran. Selain dari itu pemendapan parafin juga menyebabkan lain-lain masalah mekanikal.

Di Malaysia beberapa lapangan telah dikenalpasti menghasilkan minyak mentah berlilin seperti Irong Barat, St. Joseph, Tembungo, Dulang dan lain-lain. Potensi untuk masalah yang ditimbulkan oleh kesan pemendapan parafin khususnya untuk lapangan Dulang adalah besar. Jadual 1 hingga Jadual 4 menunjukkan data dari beberapa telaga di Malaysia yang menghadapi masalah pemendapan lilin parafin.

Kajian

Banyak kajian telah dijalankan oleh para penyelidik di seluruh dunia untuk mengkaji mekanisme pemendakan parafin dalam talian aliran dan lain-lain bahagian pada sistem pengeluaran petroleum. Jadual-5 memberikan ringkasan antara kajian-kajian yang pernah dijalankan dan hasil yang diperolehi.

Bersandarkan kepada tinjauan literatur, beberapa objektif untuk kajian ini telah dirancang. Kajian yang dijalankan cuba untuk melakukan perkara-perkara seperti berikut:

1. Mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi pemendakan parafin pada dinding talian dan tetiub pengeluaran seperti suhu, tekanan, kadar alir dan lain-lain.
2. Menghasilkan model komputer untuk peramalan pemendakan parafin berdasarkan faktor yang dikaji dan di periksa kesahihannya dengan data yang diperolehi dari ujikaji.
3. Mengenalpasti kaedah menghalang, mengurangkan dan mengawal pemendakan parafin serta kaedah perawatan yang sesuai.

Bagaimana pun, sebelum kajian yang lebih mendalam dijalankan terhadap mekanisme pemendakan parafin, satu perkara yang lebih asas perlu difahami dengan jelas terlebih dahulu iaitu kimia parafin.

Kimia Pemendakan Parafin

Hidrokarbon parafin merupakan sebatian organik tertepu yang berantai lurus ataupun bercabang yang boleh diwakili dengan formula C_nH_{2n+2} . Manakala istilah lilin parafin pula digunakan untuk campuran pelbagai kumpulan hidrokarbon terutamanya parafin dan siklo-alkana yang berupa pepejal pada suhu ambien.

Lilin parafin boleh dibahagikan kepada dua iaitu lilin parafin hablur makro dan lilin parafin hablur mikro. Lilin hablur makro terdiri daripada hidrokarbon tertepu normal C_{18} - C_{30} dan sedikit iso-alkana dan siklo-alkana. Berat molekul untuk komponen ini adalah antara 250 hingga 450 dengan takat lebur pada 40°C hingga 60°C . Hablur lilin jenis ini berbentuk plat (kepingan) atau jarum.

Lilin hablur mikro pula selain dari mengandungi hidrokarbon normal, turut mengandungi jumlah iso-alkana dan naftana dengan rantai-sisi alkil yang panjang dengan jumlah yang besar. Sebahagian besar dari komponen lilin jenis ini terdiri dari sebatian C_{40} - C_{55} . Takat lebur untuk lilin hablur-mikro berbeza-beza di antara 60°C hingga 90°C .

Kerak lilin yang biasa ditemui di dalam sistem paip adalah di antara julat lilin parafin putih dan bahan asfaltin. Ia adalah sebatian kimia yang stabil dan berubah dari lembut ke separuh-pepejal dan berbutir serta yang mengandungi kuantiti minyak yang kecil. Selain dari sebatian organik, air dan partikel-partikel kecil seperti pasir, lodak juga kerap kali ditemui dalam kerak lilin.

Mekanisma Pemendakan

Dua fenomena mesti berlaku sebelum sebarang pemendakan ditemui di dalam paip dan tangki.

1. Keseimbangan larutan minyak-lilin dimusnahkan jika tidak akumulasi tidak akan berlaku.
2. Hablur lilin yang terbebas mestilah mempunyai daya merekat, berkumpul dan menyerap dalam suatu cara di mana pengeluaran normal tidak dapat mengalihkan dan menyerakkan kerak lilin tersebut.

Kehilangan keseimbangan larutan lilin di dalam minyak sahaja tidak semestinya menghasilkan pemendakan. Hablur lilin biasanya berbentuk jarum dan selagi ia kekal bersendirian ia akan terserak di dalam minyak dan tidak mendak pada permukaan. Tetapi terdapat bahan yang akan bertindak

sebagai nukleus yang akan menyebabkan hablur lilin tersebut berkumpul menjadi satu partikel yang lebih besar. Partikel yang terbentuk inilah yang akan terke-luar dari minyak dan merekat pada sistem pengeluaran telaga. Antara bahan-bahan yang akan bertindak sebagai nukleus ini adalah seperti asfaltin, partikel halus dari formasi dan bahan hasil kakisan.

Penurunan suhu merupakan sebab yang utama mengapa lilin termendak. Pada suhu yang rendah, keterlarutan hablur lilin dalam minyak akan berkurang. Penyejukan minyak mentah berlaku pada beberapa tempat dalam sistem telaga. Antara sebab penurunan suhu ialah pengembangan minyak atau gas, kehilangan haba pada tetiub dan banyak lagi. Pada tahap tertentu dalam sistem, suhu mungkin jatuh di bawah takat lebur lilin dan lilin akan mula berkumpul dan mendak pada permukaan peralatan pengeluaran.

Kekerasan dan ketebalan pemendakan adalah fungsi kepada masa pengaliran. Semakin lama minyak mengalir melalui paip, semakin keras lilin yang terbentuk. Bagaimanapun pada halaju bendalir yang tinggi, ketebalan mendakan dijangka berkurang kerana kesan daya seretan terhadap kerak. Banyak lagi faktor lain yang mempengaruhi akumulasi ini dan ia mesti diselidiki berdasarkan kod pengujian yang telah diluluskan.

Nisbah air-minyak turut memberi kesan kepada pemendakan parafin. Air mungkin menyebabkan keterbasahan permukaan logam menjadi basah-air. Ini akan mengurangkan kemungkinan untuk minyak atau lilin bersentuhan dengan permukaan tersebut. Tetapi untuk telaga yang banyak mengeluarkan air, lazimnya pencegah kakisan yang basah-minyak digunakan yang akan membantu lilin untuk mendak.

Kaedah Merawat

Kajian awal dan literatur menunjukkan bahawa parafin boleh dihalang atau sekurang-kurangnya dikurangkan dengan menggunakan beberapa kaedah yang dapat dikelaskan seperti berikut:

1. Kaedah mekanikal,
2. Kaedah terma,
3. Kaedah kimia termasuk penyerak dan pelarut
4. Kombinasi kaedah-kaedah di atas.

Kaedah mekanikal yang dimaksudkan termasuklah penggunaan penggeruk dan pemotong. Teknik ini agak ekonomik dan lazimnya tidak mendatangkan kesan sampingan yang tidak diinginkan seperti kerosakkan formasi. Bagaimanapun kaedah ini mempunyai keberkesanan pembersihan yang terhad.

Penggunaan edaran minyak panas atau 'hot oiling' termasuk dalam kaedah terma. Minyak panas dipam ke dalam telaga pada suhu yang lebih tinggi dari suhu formasi dan dijangka dapat mencairkan semula kerak lilin dan membawanya ke permukaan. Bagaimanapun, kaedah ini boleh mengakibatkan kerosakkan formasi sekiranya minyak panas yang mengandungi parafin memasuki formasi yang mempunyai suhu reserbor yang lebih rendah dari takat awan minyak panas. Lain-lain kaedah terma ialah penggunaan air panas ataupun wap dan pemanas dasar lubang.

Penyerak larut-air digunakan bukan untuk mencairkan parafin tetapi menyecrakkan partikel parafin supaya ia tidak berkumpul dan dapat dikeluarkan dari telaga. Bahan kimia pengubah hablur pula digunakan untuk mengelakkan hablur lilin dari bergabung dengan cara mengekalkan bahan yang bertindak sebagai nukleus sentiasa dalam larutan.

Masalah Di Lapangan Luar Pantai Malaysia

Tinjauan yang telah dijalankan menunjukkan kira-kira satu perempat daripada jumlah lapangan minyak di Malaysia menghasilkan jenis minyak berlilin. Lapangan minyak tersebut adalah seperti Dulang, St. Joseph, Tembungo, Semangkok, Erb West dan Irong Barat. Sejumlah kos operasi yang besar diperuntukkan untuk kerja-kerja baikpulih talian pengeluaran bertujuan membersihkan mendakan lilin parafin. Biasanya operator yang mengusahakan sesuatu lapangan minyak akan cuba mengelakkan dari menjalankan kerja baikpulih yang kerap. Kebanyakan lapangan yang terlibat memerlukan sekurang-kurangnya dua kali khidmat untuk membersihkan talian pengeluaran untuk tempoh masa yang sama diperlukan oleh lapangan lain. Berbagai cara mekanikal, terma dan kimia digunakan dalam proses rawatan dengan berbagai darjah kejayaan.

Kos sewa rig baikpulih berdasarkan harga pasaran sekarang ialah lebih kurang US\$25,000 sehari dan ini menunjukkan setiap rawatan memakan belanja lebih dari sejuta ringgit. Walaupun kesemua kos operasi akan dibayar oleh operator/kontraktor tetapi kos tersebut telah diambil dari hasil keuntungan yang dipulangkan kepada negara.

Kerja Penyelidikan Yang Telah dan Sedang Dijalankan

Langkah harus diambil untuk menyelidiki mekanisme pemendakan yang sebenar dan merekabentuk kaedah pencegahan yang berkesan dan ekonomi. Kajian yang dijalankan bertujuan mengumpul maklumat dan menganalisis data-data awal sebanyak yang mungkin. Ia juga untuk mengenalpasti masalah yang timbul semasa menjalankan proses kerja amali. Model peralatan yang digunakan di dalam kajian ini adalah seperti yang ditunjukkan di dalam gambarajah 1 dan gambarajah 2.

Bagaimana pun dilihat dari model yang direka dan keputusan yang telah diperolehi, kaedah ini tidak dapat mewakili keadaan yang sebenar. Peralatan ini menyelaku proses aliran pada tekanan rendah dengan beberapa darjah ralat dan pengabaian. Pengubahsuaian ke atas model tersebut diperlukan supaya penyelakuan pada aliran tekanan tinggi dapat diusahakan dan dengan itu permodelan aturcara komputer boleh dirancang kelak.

Kajian yang dilakukan terbahagi kepada dua bahagian iaitu kajian di makmal dan kajian untuk merekabentuk model yang dapat meramal pembentukan mendakan parafin. Data-data yang diperolehi di makmal akan digunakan untuk menguji kesahihan atau ketepatan model yang dibina.

Memandangkan kajian yang dilakukan masih dalam peringkat awal, penekanan dilakukan terhadap kerja-kerja amali seperti pencirian minyak mentah dan parameter yang mempengaruhi pembentukan mendakan parafin. Antara parameter yang diukur dalam pencirian minyak mentah dan lilin adalah:

1. Komposisi
2. Takat lebur
3. Takat tuang
4. Takat awan
5. Kelikatan
6. Kekuatan gel dan nilai alah

Manakala parameter yang mempengaruhi pemendakan pula adalah seperti berikut:

1. Kadaralir
2. Ketepuan lilin
3. Perbezaan antara suhu aliran dan permukaan
4. Masa
5. Kekasaran dinding paip
6. Rejim aliran
7. Kelikatan minyak
8. Kadar penyejukan
9. Keterbasahan
10. Tekanan
11. Nisbah air-minyak

Sebuah rig ujikaji telah dibina untuk mengkaji faktor-faktor yang disebutkan di atas (lihat gambarajah 1). Secara amnya, terdapat dua sistem aliran pada rig ini iaitu sistem pemanasan (aliran minyak mentah) dan sistem penyejukan (aliran air) - lihat gambarajah 2.

Data-data awal ujikaji menunjukkan pertambahan parafin dengan pertambahan perbezaan antara suhu aliran dengan suhu permukaan dan pertambahan masa pengaliran. Sebaliknya pemendapan parafin berkurang dengan pertambahan kadaralir.

Sampel

Sampel minyak mentah yang digunakan adalah dari lapangan Semangkok dan Irong Barat dari luarpantai Trengganu dan St. Joseph serta Tembungo dari luar pantai Sarawak. Sampel-sampel ini merupakan sampel minyak mentah mati (dead oil) iaitu diperolehi pada keadaan ambien.

Kesimpulan

Masalah pemendakan parafin atau lilin merupakan satu masalah yang besar dalam operasi pengeluaran petroleum. Kos yang besar dibelanjakan setiap tahun untuk tujuan baikpulih dan kerjasemula. Di Malaysia sejumlah telaga dikenalpasti menghasilkan minyak berlilin dan menghadapi masalah pemendakan dalam talian pengeluaran. Oleh itu kajian perlu dijalankan untuk mencari jalan agar masalah ini dapat dikurangkan.

Kajian yang dilakukan dijangka dapat mengenalpasti mekanisma pembentukan parafin pada tetiub pengeluaran dan menentukan keadaan yang paling optimum untuk pengeluaran minyak mentah di Malaysia. Pencirian terhadap minyak mentah dan lilin merupakan prasyarat kepada kajian mengenai mekanisma pemendakan. Model komputer perlu dibangunkan bagi tujuan meramal keadaan pembentukan kerak lilin dan seterusnya membantu dalam kerja-kerja pencegahan pemendakan parafin.

Laporan-laporan yang berikutnya akan membentangkan keputusan-keputusan yang telah dicapai setakat ini.

Rujukan

1. Jessen, F.W. dan Howell, J.N.; "Effect of Flowrate on Paraffin Accumulation in Plastic, Steel and Coated Pipe."; Petroleum Transactions, AIME, 1958, 80-84.
2. Cole, R.J. dan Jessen, F.W.; "Paraffin Deposition"; Oil and Gas Journal, Sept 1960, 87-90.
3. Hunt, E.B.; "Laboratory Study of Paraffin Deposition."; Journal of Pet. Tech., Nov. 1962, 1259-1269.
4. Patton, C.C dan Jessen F.W.; "The Effects of Petroleum Residual on Paraffin Deposition From a Heptane-Refined Wax System."; Petroleum Transactions, AIME, Vol 234, 1965, p. 333.
5. Jorda, R.M., "Paraffin Deposition and Prevention in Oil Well."; J. Pet. Tech, Dec. 1966, 1605-1612.
6. Patton, C.C dan Casad, B.M; "Paraffin Deposition From Refined Wax-Solvent System."; J. Pet tech, March 1970, 27-34.
7. Bott, T.R. dan Gudmundsson J.S.; "Deposition of paraffin Wax from Flowing System"; Institute of Petroleum, 1978.
8. Haq, Mohamed A.; "Deposition of Paraffin Wax from its Solution with Hydrocarbons."; SPE 10541, 1982.
9. Allen, T.O. dan Robert, A.P.; "Production Operation"; Vol. 2, ms.11-18, Oil & Gas Consultants International Inc, Tulsa, 2nd Edition, 1979
10. Freund, M et al; "Paraffin Products"; Elsevier Science Publishing Company Inc, New York, 1982.
11. Zaini Mislim, "Kajian Pemendakan Parafin Di Dalam Tetiub Pengeluaran, "Tesis, Sm. Kej. Petroleum, UTM, 1990

Jadual 1. Data Telaga 'A'

- (a) Water depth = 249 feet
- (b) Rotary Kelly Bushing = 51.8ft (RKB)
- (c) WHPT = 104°F
- (d) Reservoir temperature = 203°F
- (e) Estimated temperature gradient = $104^{\circ}\text{F} + (0.025 \times \text{Depth, TVDSS})^*$
- (f) Mid-Perf. Depth = 4035 ft TVDSS
- (g) Oil rate = 1338 STB/D
- (h) Gas rate = 0.318 MMSCF/D
- (i) GOR = 421 scf/stb

CHARACTERISTICS OF CRUDE OIL

- (a) Average wax content = 47.4% wt.
- (b) Pour point = 95°F
- (c) Specific Gravity = 0.87*
- (d) Total Sulphur = 0.12% wt.

COMPOSITIONAL ANALYSIS OF SEPARATE LIQUID

COMPONENT	MOL (%)	WEIGHT %	DENSITY gm/cc @ 60°F
H ₂ S	0.00	0.00	
CO ₂	5.35	1.09	
N ₂	0.01	Trace	
Methane	1.55	0.12	
Ethane	0.54	0.07	
Propane	0.56	0.12	
Iso-Butane	0.37	0.10	
N-Butane	0.36	0.10	
Iso-Pentane	0.32	0.11	
N-Pentane	0.36	0.09	
Hexanes	0.88	0.54	0.6850
Heptanes	1.26	0.54	0.7538
Octanes	3.95	1.92	0.7702
Nonanes	5.02	2.74	0.7851
Decanes	4.16	2.51	0.7981
Undecanes+	75.41	90.15	0.8470
TOTAL :	100.00	100.00	

Properties of
Heptane + *

$^{\circ}\text{API} = 37.0 @ 60^{\circ}\text{F}$
Density = 0.8391
MW = 234.

Jadual 2. Data Telaga 'B'

GENERAL DATA

- (a) Water depth = 200 ft
- (b) RKB = 117 ft
- (c) Tubing Head = 52 ft
- (d) Temperature gradient = $72^{\circ}\text{F} + (0.024 \times \text{Depth, TVDSS})$
- (e) Reservoir temperature = 267°F
- (f) Tubing size = 2 7/8"
- (g) Reservoir depth = 8010 ft TVDSS
- (h) Oil rate = 1006 stb/d
- (i) Water cut = 0%
- (j) GOR = 1220 scf/stb
- (k) Choke size = 50

CHARACTERISTIC OF CRUDE OIL

- (a) Wax content = 7.0% wt.
- (b) Pour point = 75°F
- (c) SG = 0.793
- (d) Salt content = 6.15 PTB
- (e) Sulphur = 0.07% wt.

COMPOSITIONAL ANALYSIS

COMPONENT	MOL %	COMPONENT	MOL %
H ₂ S	0.00	Hexanes	4.36
CO ₂	2.75	Heptanes	4.08
N ₂	0.18	Octanes	3.61
Methane	33.07	Nonanes	3.88
Ethane	8.54	Heaver Fraction	22.55
Propane	6.93		
i-Butane	2.67	TOTAL :	100.00
n-Butane	3.33		
i-Pentane	2.43		
n-Pentane	1.62		

Properties of Heavier Fraction

Density = 0.8242 gm/cc @ 60°F
MW = 195
Mols per barrel = 2.5888

Jadual 3. Data Telaga 'C'

GENERAL DATA

- (a) Water depth = 210 ft.
- (b) Temperature gradient = $88^{\circ}\text{F} + (0.025 \times \text{Depth, TVDSS})$
- (c) Reservoir temperature = 214°F
- (d) Tubing size = $2\frac{7}{8}$ "
- (e) Oil rate = 1668 stb/d
- (f) Water cut = 0%
- (g) GOR = 821 scf/stb
- (h) Choke size = 50
- (i) Reservoir Depth = 5468 ft TVDSS
- (j) Packers = (1) Baker "A₅" HYD (60,000 psi shear)

(11) OTIS "RH" HYD (40,500 psi shear)

CHARACTERISTIC OF CRUDE

- (a) Wax content = 9.4% wt.
- (b) Sulphur content = 0.24% wt.
- (c) Salt content = 1.7 wt.
- (d) Water & sediment = 0.10% vol.
- (e) API = 43°

COMPOSITIONAL ANALYSIS

COMPONENT	MOL. %	COMPONENT	MOL. %
H ₂ S	0.00	Hexanes	5.40
CO ₂	0.30	Heptanes	11.83
N ₂	0.00	Octanes	10.76
Methane	5.25	Nonanes	7.88
Ethane	3.91	Decanes +	6.19
Propane	5.48	Undecane +	32.75
i-Butane	2.74	Properties of Heptane + Density = 0.825 gm/cc @ 60°F API = 39.8 MW = 210	
n-Butane	3.40		
i-Pentane	2.32		
n-Pentane	1.79		

Jadual 4. Data Telaga 'D'

GENERAL DATA

- (a) Water depth = 273 ft
- (b) RKB = 36 ft to tubing head
- (c) Reservoir temperature = 170°F
- (d) Max. well angle = 50°
- (e) Mud perforation = 10,528 ft MDRXB
- (f) Water cut = 40%
- (g) Oil rate = 50 stb/d
- (h) Packer = 7084-40 SCIL BAKER PACKER
- (i) Production mode = commingled (Gas lifted)
- (j) Tubing size = $2\frac{7}{8}$ "

CHARACTERISTIC OF CRUDE OIL

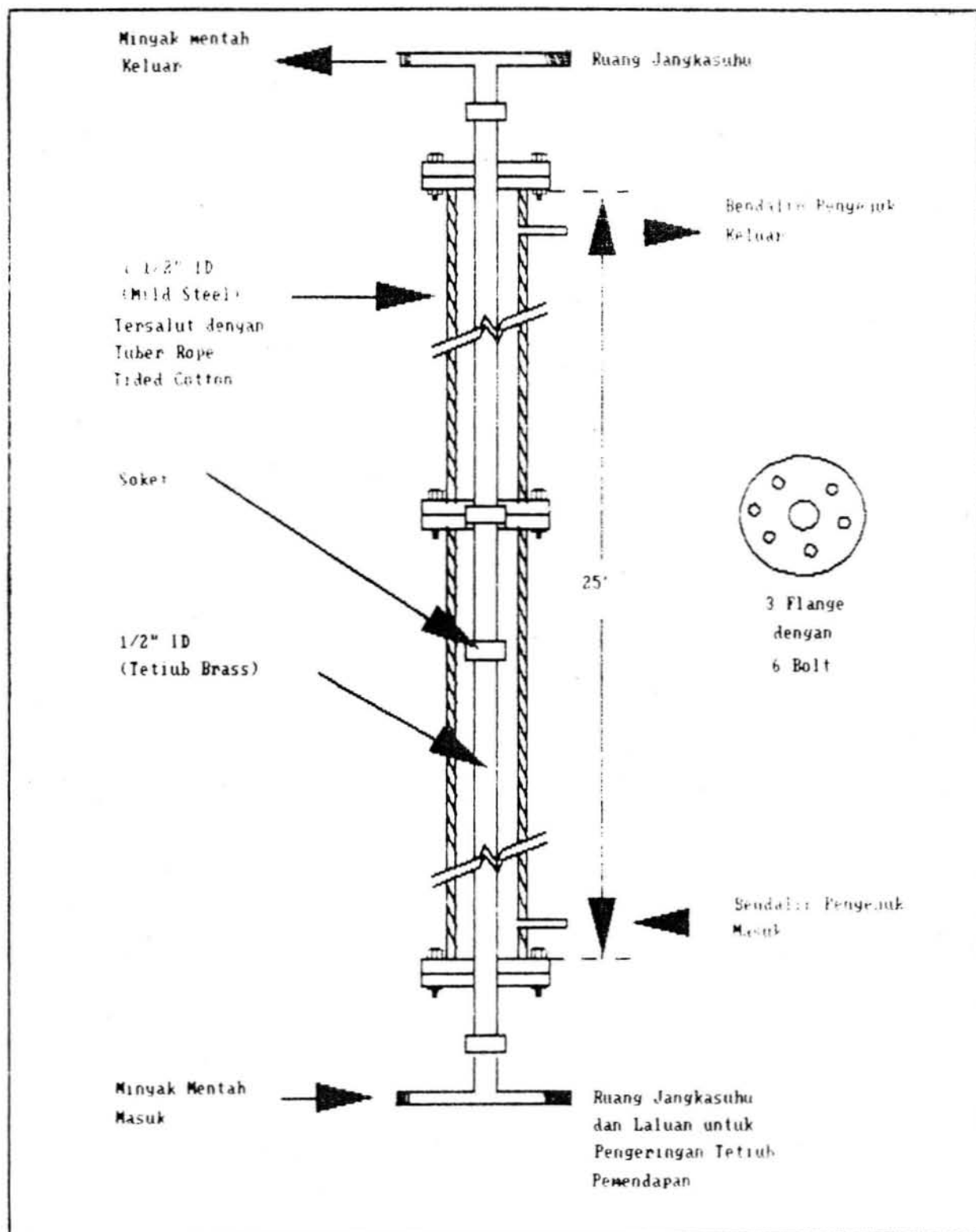
- (a) Wax content = 7.9% wt.
- (b) Pour point = 30°F
- (c) API gravity = 37.2° @ 60°F
- (d) Sulphur content = 0.2% wt.
- (e) Sediment content = 0.15% wt.
- (f) Water content = <0.05% vol.

COMPOSITIONAL ANALYSIS

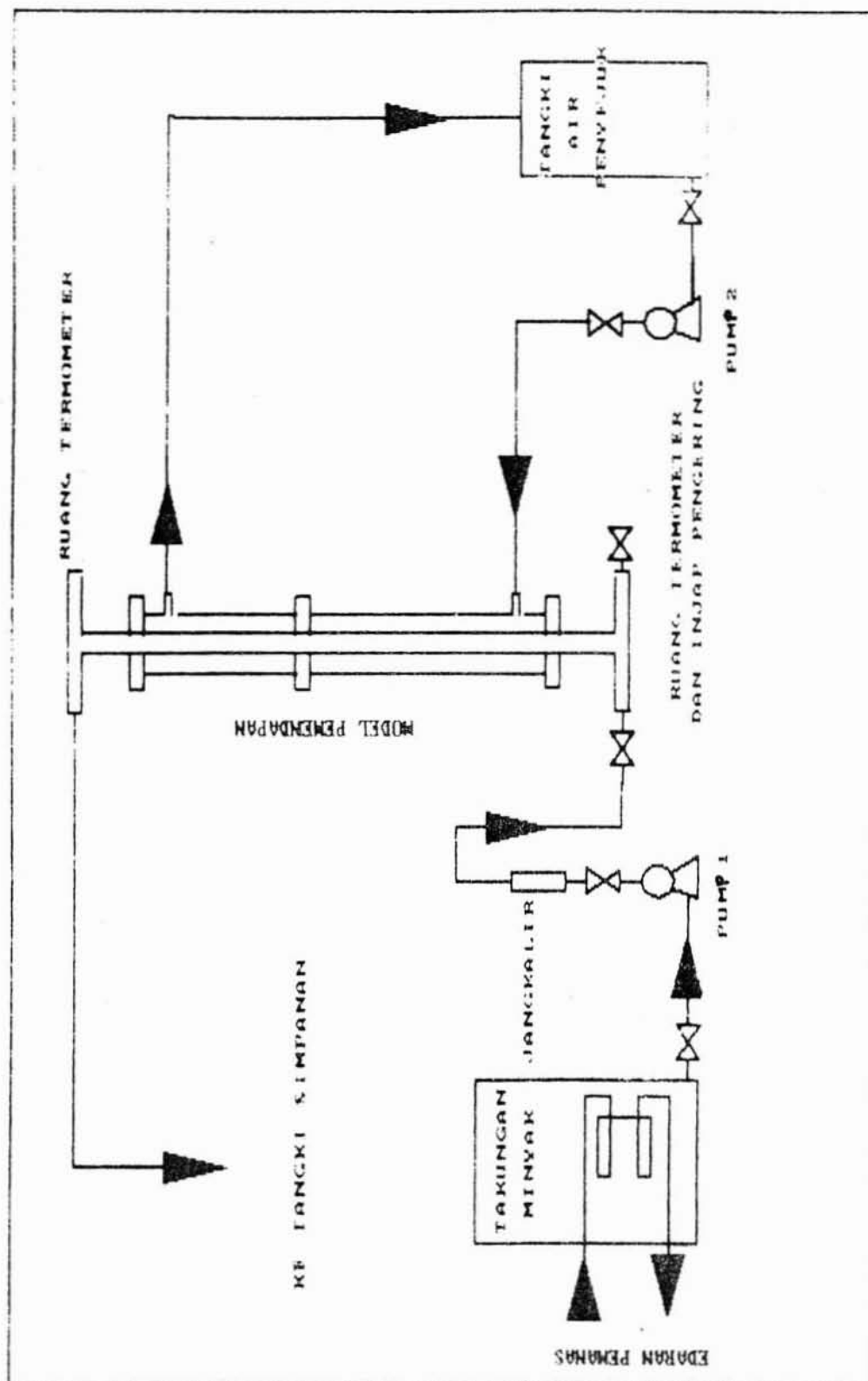
COMPONENT	MOL. %	COMPONENT	MOL. %
CO ₂	0.93	Hexanes	3.43
N ₂	0.04	Heptanes	3.96
Methane	37.32	Octanes	5.11
Ethane	5.30	Nonanes	3.37
Propane	3.98	Heavier Fraction	32.17
i-Butane	0.99	TOTAL :	
n-Butane	1.49		
i-Pentane	1.01		
n-Pentane	0.90		

Jadual-5 Senarai Kajian Pemendapan Parafin

Pengkaji	Tahun	Hasil Kajian
Jessen & Howell ¹	1958	Kajian dilakukan terhadap kesan rejim aliran. Hasil kajian menunjukkan bahawa pemendapan akan bertambah pada kadar alir yang bertambah bagi aliran laminar. Sebaliknya pemendapan berkurangan pada kadar alir yang bertambah bagi aliran gelora.
Cole & Jessen ²	1960	Kesan perbezaan suhu di antara titik awan minyak dengan permukaan dikaji. Pemendapan akan bertambah dengan pertambahan perbezaan suhu.
Hunt ³	1962	Pemendapan bertambah secara asymptotik dengan masa aliran.
Patton & Jessen ⁴	1965	Pemendapan bertambah dengan masa aliran.
Jorda ⁵	1966	Kesan kekasaran permukaan terhadap pemendapan dikaji. Pemendapan meningkat pada permukaan kasar.
Patton & Casad ⁶	1970	Pemendapan bertambah dengan masa aliran.
Eaton & Weeter	1976	Pemendapan hanya terjadi sekiranya permukaan mempunyai suhu di bawah suhu larutan. Kadar pembentukan pemendapan parafin bertambah secara stabil dengan pertambahan perbezaan suhu.
Bott & Gudmundsson ⁷	1978	Jumlah pemendapan parafin bertambah dengan jangkamasa aliran tetapi berkurangan sekiranya kadar aliran ditingkatkan. Pemendapan akan meningkat dengan pertambahan peratus kepekatan lilin.
Mohd. A. Haq ⁸	1982	Jumlah mendapan bertambah dengan masa aliran dan peratus kepekatan lilin. Pemendapan berkurang dengan peningkatan kadar alir dan sekiranya suhu larutan ditingkatkan.



Gambaran 1 : Model Pemendapan Parafin



Gambarajah 2 : Diagram Aliran Peralatan